

Determinação das Variações Volumétricas Ocorridas no Istmo da Ilha do Mel Utilizando o GPS

Elaine Cristine Barros de Souza ¹
Prof. Dra. Claudia Pereira Krueger ²

^{1,2} Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR

² Laboratório de Geodésia Espacial Setor de Ciências da Terra
Departamento de Geomática
81.530-100, Curitiba / Paraná

¹ ✉ ecsouza@geoc.ufpr.br

² ✉ ckrueger@cce.ufpr.br

Conteúdo	
	1 Introdução
	2 Materiais e Métodos utilizados na Pesquisa
	2.1 Levantamentos de Campo
	3 Resultados obtidos
	4 Geração dos MDT (Grades/Interpoladores) e Determinação das Variações Volumétricas
	5 Considerações Finais
	6 Referências Bibliográficas

Resumo: As ações e os projetos envolvendo temas ambientais devem estar apoiados por uma base geodésica e por uma cartografia de qualidade. Neste sentido o Global Positioning System (GPS) é um componente eficaz, pois contribui para a formação de uma base geométrica uniforme num setor do meio ambiente, cujos componentes estão sendo continuamente alterados, consumidos ou reconstruídos por atividades orgânicas e humanas, bem como por fenômenos de recirculação física e química. O presente trabalho apresenta a determinação das variações volumétricas ocorridas no istmo da Ilha do Mel, a qual situa-se na entrada da baía de Paranaguá, no litoral do estado do Paraná. Foram gerados Modelos Digitais do Terreno (MDT) para as épocas de 1997, 1999 e 2001, a partir das coordenadas geodésicas com o GPS. Ele mostrou-se um sistema viável e prático para a detecção das variações volumétricas na área em estudo sendo que os resultados com ele alcançados apresentaram precisões relativas da ordem decimétrica ou melhor.

Palavras chave: PDGPS, MDT, Variações Volumétricas, Âmbito Marinho.

Abstract: The actions and projects involving environmental themes must be supported by a geodetic base and by a good cartography. In this sense, Global Positioning System (GPS) is an efficient component to support such researches in the marine environment, where it contributes to develop a uniform geometrical basis in an altered, consumed or rebuild by human and organic activities, and by physical and chemical recirculation phenomena as well. The objective of this work is to analyse the high precision solutions with the use of GPS in the isthmus of the Ilha do Mel Island, an island located on the entrance of the Paranaguá bay, on the coast of the state of Paraná. A geodetic study in Digital Terrain Models (DTM) of the isthmus, thus making the calculation of the volumetric variations among different times (1997, 1999 e 2001). In this work, the applications of high precision of GPS in those marine environments were investigated, being restrictions. With the use of GPS for the detection of volumetric variations in the area of the isthmus, its performance can be verified, along with the viability, according to the relative precisions of the order decimetric or better.

1 Introdução

No litoral paranaense têm-se desenvolvido alguns levantamentos geodésicos objetivando: o monitoramento de áreas sujeitas a acreção/progradação (aumento da linha de costa) e ao recuo/erosão (diminuição da linha de costa); o posicionamento preciso de embarcações, de recifes artificiais, bóias e plataformas; a localização dos recifes artificiais; levantamentos cadastrais de cais portuários; testes com uma rede de estações de referência local. Na década de 90 iniciaram-se estudos na Ilha do Mel, baseados no posicionamento por meio de técnicas espaciais, visando detectar e quantificar a evolução temporal das linhas de costa, bem como a variação do processo erosivo do istmo desta ilha.

Com relação à área costeira sua aparência varia com o ganho ou com a perda de areia (variação da linha de costa) que é o limite entre o continente e a porção adjacente ao mar onde não há efetiva ação marinha no alcance máximo das ondas, concretizando-se pela presença de falésias, no limite entre a vegetação e a praia, ou nos costões rochosos, ou por qualquer outra feição que marque o início da área continental, essa linha pode sofrer um avanço (progradação) ou recuo (erosão) (SUGUIO, 1992). Essa variação poderá alterar o balanço sedimentar em função da variabilidade de parâmetros oceanográficos como: ondas, correntes e marés; dados meteorológicos; precipitação, direção e intensidade de vento. Modificações nas taxas de aporte e da retirada de sedimentos tendem a provocar sérios problemas em áreas urbanizadas que representam uma importante opção de lazer e de atividade econômica, principalmente quando o balanço é negativo, gerando erosão (GUERRA/CUNHA, 1996).

No Brasil, verifica-se o emprego em alguns levantamentos do método de posicionamento diferencial (DGPS). Ele consiste basicamente no posicionamento de uma estação móvel (itinerante), por meio da combinação dos dados brutos e das correções diferenciais geradas e transmitidas a partir de uma estação de referência (fixa sobre um ponto com coordenadas conhecidas). Percebe-se que grande parte dos usuários utilizam a técnica *Real Time Kinematic* (RTK), a qual necessita de equipamentos

capacitados e é aplicada a linhas de base curtas ($\leq 10\text{km}$). Algumas instituições, como a Universidade Federal do Paraná (UFPR), têm empregado a técnica DGPS Preciso (PDGPS) com o auxílio do programa GNREF/GNRT-K (desenvolvido pela empresa Geopp – Alemanha), a qual têm se mostrado eficiente e precisa (da ordem decimétrica ou melhor) e é aplicada a linhas de base com comprimento superiores as da técnica RTK. Mais detalhes sobre o programa ver: (GEOpp, 1995), (GEOpp, 1998).

2 Materiais e Métodos utilizados na Pesquisa

Os equipamentos e programas empregados nesta pesquisa foram: receptores geodésicos Ashtech Z-XII, antenas de dupla frequência, 1 sistema de comunicação, caracterizado por um par de rádios da marca *Pacific Crest*, antenas omnidirecionais; 2 microcomputadores operando no sistema OS-2 e com o programa GNREF/GNRT-K (1 para a estação móvel e 1 para a estação de referência); computadores adequados para o pós-processamento dos dados e para a edição dos gráficos e das figuras, bem como para a geração e análise dos MDT (SURFER).

2.1 Levantamentos de Campo

Os levantamentos realizados nos anos de 1997, 1999 e 2001 consistiram em levantamentos em tempo real, de perfis longitudinais e transversais no istmo da Ilha do Mel (Figura 1). Empregou-se a técnica PDGPS com o programa GNREF/GNRT-K.

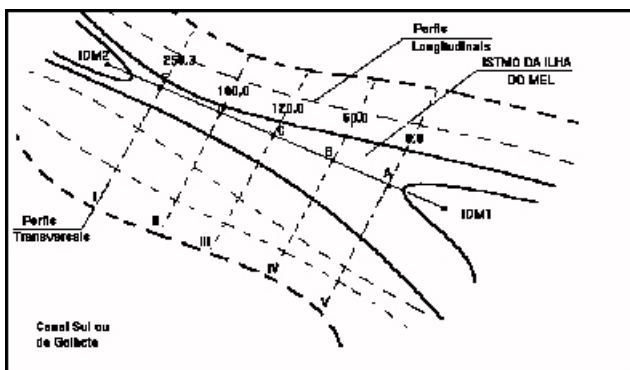


Figura 1 : Perfis Longitudinais e Transversais no Istmo da Ilha do Mel (KRUEGER, et al., 1999)

A estação de referência foi instalada no marco CEM2, localizado na caixa d'água do Centro de Estudos do Mar (CEM). Nele foram instaladas uma antena GPS Geodésica III e o sistema de comunicação (rádio de transmissão da marca *Pacific Crest*, operando com uma potência de 35W na faixa UHF em FM). Nas dependências do CEM instalou-se um computador, um receptor Ashtech Z-XII e o módulo GNREF (que gerou e transmitiu as correções diferenciais no formato RTCM++ para a estação móvel, por meio do sistema de comunicação) (Figura 2). A estação móvel (MOBI) consistiu de uma pessoa se deslocando ao longo dos perfis transversais e longitudinais, com um receptor Ashtech Z-XII, uma antena GPS, um *laptop* no qual foi instalado o módulo GNRT-K e um sistema de comunicação (rádio com 2W de potência).



Figura 2 : Esquema da Estação de Referência Instalada no CEM

3 Resultados obtidos

Com os levantamentos de 1997, 1999 e 2001, dos perfis longitudinais e transversais no istmo da Ilha do Mel, foi possível avaliar a precisão alcançada com o programa GNRT-K para os pontos de interseção destes perfis (A, B, C, D, E) (Figura 1), bem como avaliar a precisão das coordenadas geodésicas e os desvios padrão, para toda área levantada nas diferentes épocas. Observou-se que as diferenças calculadas entre as coordenadas geodésicas para esses pontos de interseção dos perfis longitudinais e transversais foram inferiores a 10cm, em 80% dos casos para o ano de 1997. Verifica-se que estes valores estão abaixo da precisão preconizada pela técnica PDGPS (seção 1). Os MDT foram gerados (seção 4) com 1.684 coordenadas geodésicas em 1997, 5.398 coordenadas geodésicas em 1999 e 1.568 coordenadas geodésicas em 2001, a partir dos arquivos de saída gerados na estação móvel (MOBI), gerando assim as representações do istmo da ilha para cada época de observação. A Figura 3 ilustra a representação do istmo para o ano de 1999. A cada 5s foram obtidas coordenadas geocêntricas com os seus respectivos desvios padrão, as quais foram transformadas em coordenadas geodésicas.

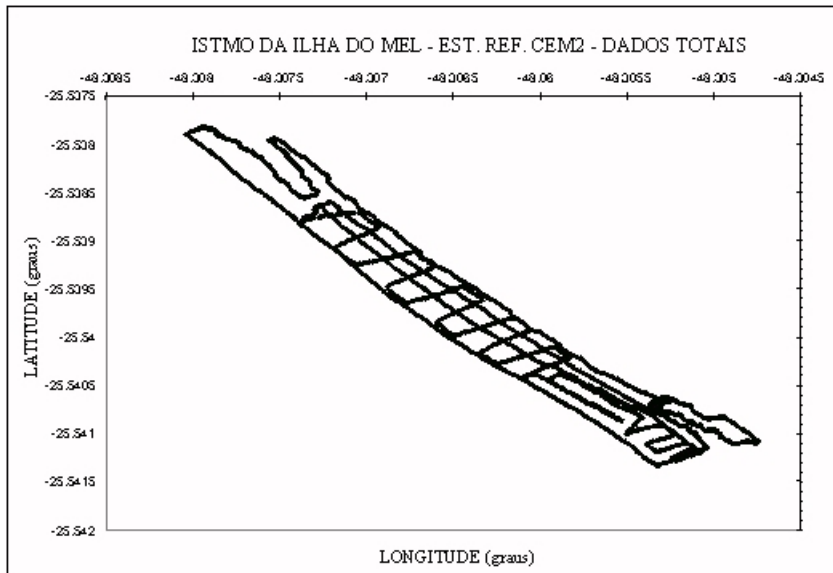


Figura 3 : Istmo da Ilha do Mel com a Estação de Referência CEM2

O gráfico 1 ilustra os desvios padrão para as coordenadas geocêntricas (X, Y e Z) obtidos para as 5.398 coordenadas para o ano 1999.

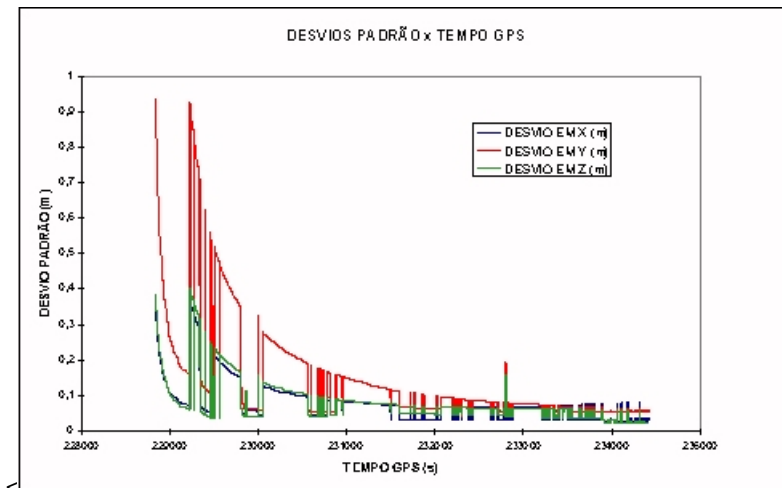


Figura 4 : Desvios Padrão em X, Y e Z (m)

Utilizando-se a estação de referência CEM2 e a estação móvel (MOBI). Verifica-se que em sua maioria eles são inferiores a 20 cm. Houve apenas uma elevação maior nos segundos iniciais, fato este devido à busca na resolução das ambigüidades.

Mais detalhes sobre os levantamentos, as precisões alcançadas e os programas envolvidos ver: (KRUEGER, et al., 1999), (KRUEGER, 2001).

4 Geração dos MDT (Grades/Interpoladores) e Determinação das Variações Volumétricas

Para o processo de geração das grades, utilizou-se o *software* SURFER, o qual tem disponíveis vários interpoladores dentre eles: o inverso da distância, kriging, vizinho mais próximo, método de *shepard*, mínima curvatura, função de base radial, triangulação com interpolação linear, etc.

O interpolador utilizado neste trabalho para a geração das grades foi o inverso da distância, o qual possui as seguintes características principais: este método utiliza um interpolador de média ponderada e que pode ser exato ou suavizante (*smoothing*) em relação à concordância com os pontos originais de observação. Durante a interpolação, os dados do levantamento são ponderados para que a influência de um ponto em relação a outro varie inversamente com a distância de um nó da grade regular ou seja, os pontos ou

amostras mais próximas terão peso maior. Este é um método muito rápido para se gerar a grade, entretanto, tende a gerar curvas que circundam a posição dos pontos observados (FRANKE, 1982). Mais detalhes sobre os interpoladores ver (SURFER, 1999), (RENKA, 1988), (LEE e SCHACHTER, 1980), (DRAPER e SMITH, 1981).

A interpolação por sua vez dependerá da quantidade de dados (amostras) coletadas em campo, bem como da sua distribuição espacial. Deve-se ressaltar que quando a quantidade de dados do levantamento é pequena, em relação à área em estudo, deve-se ao menos, buscar uma distribuição espacial uniforme dos pontos de observação, caso contrário, nenhum método de interpolação fornecerá bons resultados. A utilização de diversos métodos de geração da malha é utilizada muitas vezes com base para a geração de mapas de elevação (curvas de nível), ondulações geoidais, MDT, entre outras. Em geral, utilizam-se métodos que necessitam de pontos de levantamentos distribuídos sobre uma grade regular. Cada método calcula os nós da grade por meio de diferentes algoritmos e os resultados podem levar a diferentes interpretações dos dados. A escolha do método de interpolação é portanto, muito importante para a geração da grade, pois influencia na posterior geração de novos produtos e em toda a análise dos resultados.

A primeira etapa para geração dos MDT e posterior cálculo dos volumes, consistiu na transformação das coordenadas geográficas latitude (ϕ), longitude (λ) e altitude (h) no sistema de referência WGS-84 em coordenadas cartesianas (X, Y e Z) na projeção UTM. Deve-se ter esse cuidado antes de se efetuar o cálculo dos volumes no programa SURFER, porque ele exige que as coordenadas de entrada tenham as mesmas unidades tendo em vista que, a saída dos resultados é dada em "unidades cúbicas". Por exemplo, se as unidades de entrada forem o metro para as coordenadas X, Y e Z, então o resultado final será fornecido em metros cúbicos. Outra questão importante, como já citado, e que deve ser considerada com atenção é a resolução, a partir dessa o espaçamento da grade será definido. O critério para definição da resolução é baseado na distribuição e quantidade de amostras, em consequência a grade será mais ou menos densa. A resolução adotada foi de 5m em X e Y. Estes valores foram estabelecidos partindo-se da coleta dos dados GPS que foi realizada com uma taxa de 3s com o usuário se deslocando a uma velocidade de 5km/h, assumindo então uma distância entre os pontos de aproximadamente 5m. Desta forma as grades geradas foram de 61 linhas por 58 colunas.

A segunda etapa consistiu de uma análise do comportamento da área a ser modelada, pode ser realizada por meio da comparação visual dos mapas de isolinhas, gerados a partir de grades que utilizaram diferentes interpoladores para a sua geração. Muitas das linhas podem ser posicionadas de forma não satisfatória, ou até fornecer resultados não confiáveis, quando comparados com os dados originais. Isto ocorre porque as isolinhas são determinadas unicamente por valores interpolados dos nós da grade e não diretamente pelos dados originais. A Figura 5, ilustra os mapas de isovalor gerados para uma mesma área, porém as grades foram geradas com diferentes interpoladores.

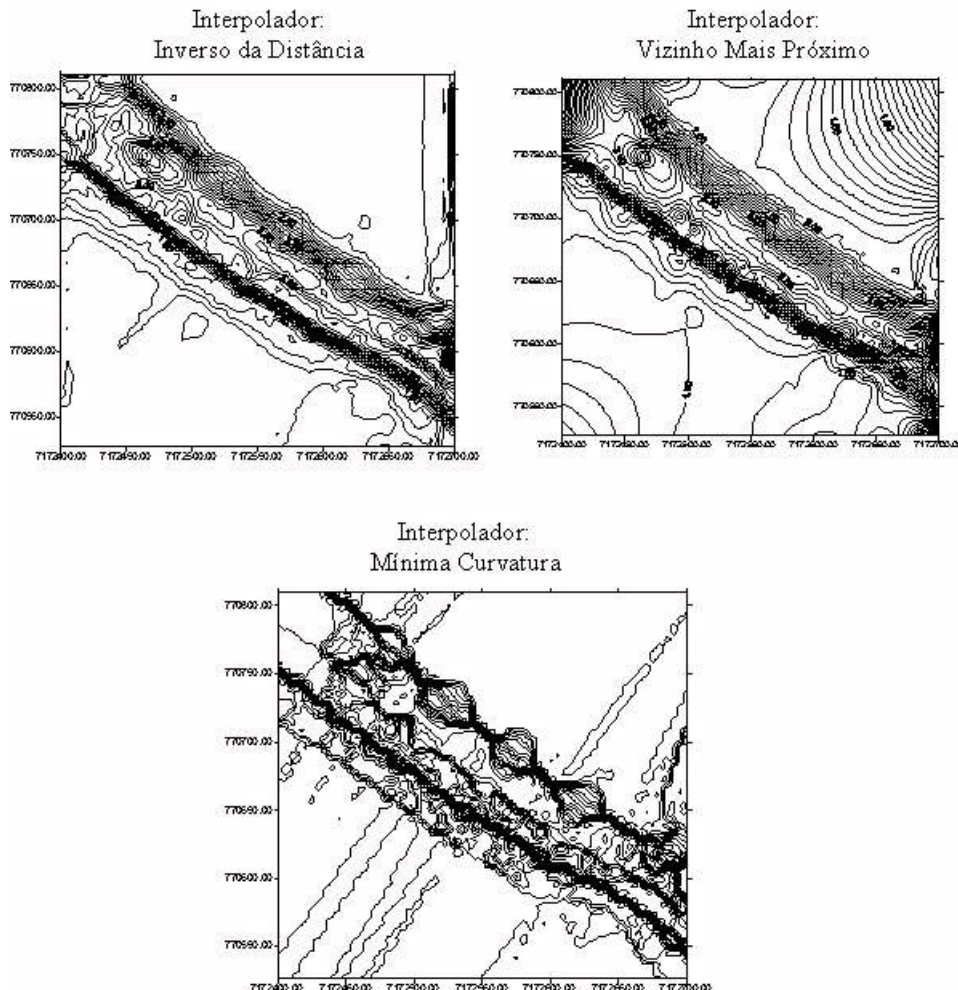


Figura 5 : Mapas de Isovalor Gerados com Diferentes Interpoladores

De posse das curvas de nível geradas, foi possível visualizar e analisar o comportamento das mesmas no que se refere aos interpoladores. Inicialmente efetuou-se uma análise visual das curvas de nível, evidencia-se com esta análise visual que os interpoladores que melhor representaram o comportamento da superfície foram o inverso da distância e o vizinho mais próximo. O comportamento visual do mapa gerado com mínima curvatura justifica-se pelo fato dele não ser um interpolador exato. Ele produz uma grade por repetibilidade (iterações) aplicando uma equação diferencial biarmônica com tensores com intuito de suavizar a grade. Mais detalhes sobre mínima curvatura ver (SURFER, 1999, p. 130).

Com o intuito de uma análise quantitativa, partiu-se para outro teste visando à escolha do interpolador a ser utilizado. Buscou-se investigar qual seria o melhor interpolador para a quantidade e distribuição espacial das amostras disponíveis, ou seja, qual interpolador retrataria da forma mais confiável o terreno a ser modelado e posterior volume a ser calculado. Utilizou-se então o módulo *grid/residuals* que o programa SURFER oferece. Esta ferramenta permite computar a diferença entre os valores de Z (cotas) dos

dados originais e os valores de Z (cotas) dos dados interpolados. Com estes resultados o programa fornece medidas estatísticas que permitem a análise da qualidade das grades geradas com os dados originais. Coletaram-se alguns pontos aleatoriamente em todo o contorno da área (bordas) e também no seu interior de forma a computar os valores da média, desvio padrão dos interpoladores inverso da distância, vizinho mais próximo, mínima curvatura. O teste forneceu desvios de 8,7cm, 9,7cm e 10,10cm respectivamente, sendo o resultado adotado - inverso da distância.

Uma questão importante no processo do cálculo do volume, é que poderão existir áreas na grade gerada que extrapolam os limites de interesse no cálculo dos volumes. Se essas áreas forem consideradas no processo do cálculo dos volumes, então poderão existir volumes totais não condizentes com os volumes supostamente esperados para a área. Mediante este problema, sempre que volumes forem calculados, deve-se delimitar a área de interesse. O SURFER disponibiliza os arquivos chamados de *blanked* ou vazios, os quais possibilitam delimitar a área de interesse dentro da grade gerada para posteriormente calcular o volume apenas na área de interesse. De posse então da nova área delimitada, pode-se realizar uma nova interpolação gerando como saída uma nova grade a qual apresenta-se mais coerente com a área real ou verdadeira. A Figura 6 mostra a grade gerada com o interpolador inverso da distância antes e depois da criação do arquivo *blanked*. A partir das novas grades geradas pode-se efetuar novamente o cálculo do volume.

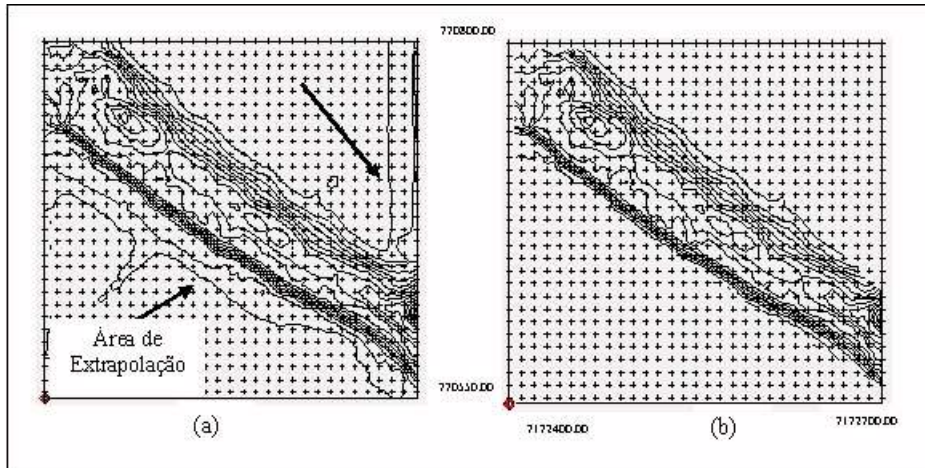


Figura 6 : Grades Geradas Antes e Depois da Criação dos Arquivos *Blanked* Geradas a Partir do Interpolador Inverso da Distância

Verifica-se na Figura 6 (a) que sem a delimitação da área de interesse os algoritmos utilizam todas as informações existentes na grade para computar o volume, conduzindo um volume maior em (a) do que em (b), “mascarando” o volume real, acarretando então em um resultado impreciso, ou seja, não confiável.

O *software* SURFER calcula os volumes baseados em sólidos definidos por uma superfície mais alta e outra mais baixa, definidas como *upper* e *lower*. A escolha do plano horizontal de referência, ou seja, o valor de Z constante, para geração do volume fica a critério do usuário. Estas superfícies ficarão definidas através de um arquivo (.grd) anteriormente gerado. Os volumes calculados no SURFER, utilizam métodos de Integração Numérica (Regra trapezoidal, Simpson e 3/8 de Simpson), um *reporter* de saída além dos volumes, fornece o tamanho da grade (X, Y e Z), a resolução, o valor do plano de referência adotado, quais os volumes de corte e aterro, as áreas, etc.

Enfatiza-se que como o *software* SURFER, utiliza o método de integração numérica, isso faz com que o algoritmo considere o terreno como uma superfície contínua, ou seja, são consideradas todas as irregularidades (rugosidades) do terreno. Então, se o volume for calculado utilizando outro método, por exemplo, método de seções transversais (o qual considera uma formulação que supõe seções planas paralelas entre si, espaçadas de uma distância d ($V = d (A1+A2/2)$), o terreno será considerado como uma superfície plana entre duas áreas de perfis consecutivos, fornecendo volumes menores, inerentes a própria formulação.

O Quadro 1 fornece os volumes calculados pelo programa SURFER nas épocas levantadas utilizando-se os três métodos de integração numérica. O plano de referência horizontal adotado foi Z=0, tendo em vista que o interesse maior neste estudo foi determinar as diferenças de volumes entre épocas de levantamentos, de forma a quantificar o processo erosivo. O Quadro 2 fornece as diferenças volumétricas entre as épocas, adotando o método de integração numérica Regra dos Trapézios.

Quadro 1 : Volumes de Corte Calculados para as Três Épocas (1997, 1999 e 2001)

Método de Integração	1997 (m3) para Z=0	1999 (m3) para Z=0	2001 (m3) para Z=0	Área plana das 3 épocas (m2)
Regra dos Trapézios	66.690,1	41.931,9	59.252,9	84.900
Regra de Simpson	66.933,3	42.183,5	59.596,8	
Regra 3/8 de Simpson	66.841,2	42.075,0	59.396,2	

Quadro 2 : Diferenças Volumétricas Calculadas para a Regra dos Trapézios entre Épocas

Épocas	Diferenças Volumétricas (m3)
1997 - 1999	+24.758,2
1997 - 2001	+7.437,2
1999 - 2001	-17.321,0

Percebe-se no Quadro 1 como era esperado, devido à tendência do processo erosivo no istmo da ilha, que os volumes totais de corte para a época 1999 são menores do que a época 1997, ou seja, $41.931,9\text{m}^3$ e $66.690,1\text{m}^3$ respectivamente. Provavelmente devido à dinâmica do fluxo sedimentar, foi constatado através dos levantamentos efetuados em 1999 que grande parte da área foi erodida, apresentando uma variação volumétrica de $+24.758,2\text{m}^3$. A diferença volumétrica apresenta um volume de corte evidenciando a área em franco processo erosivo, onde houve uma acreção de sedimentos. Para a época 2001, o volume de corte que foi de $59.252,9\text{m}^3$, ou seja, aumentou em relação a 1999 e diminuiu em relação a 1997. As diferenças volumétricas foram da ordem de $+7.437,2\text{m}^3$ entre as épocas 1997 e 2001 e $-17.321,0\text{m}^3$ entre as épocas 1999 e 2001. Constatou-se que as diferenças volumétricas computadas entre 1997 e 2001 apresentaram volume de corte, ou seja, diminuição de sedimentos (erosão) e entre 1999 e 2001 aumento de sedimentos (progradação). Tendo em vista a progradação ocorrida em 2001 (Quadros 1 e 2), faz-se necessárias algumas discussões e estudos mais aplicados na área do istmo para que as afirmações relacionadas às causas dessa progradação tenham convicção, uma vez que a erosão esperada não ocorreu e sim o contrário, houve uma progradação e também um aumento no volume do istmo com relação a uma outra época. A Figura 7 mostra os MDT gerados para as diferentes épocas com seus respectivos volumes computados.

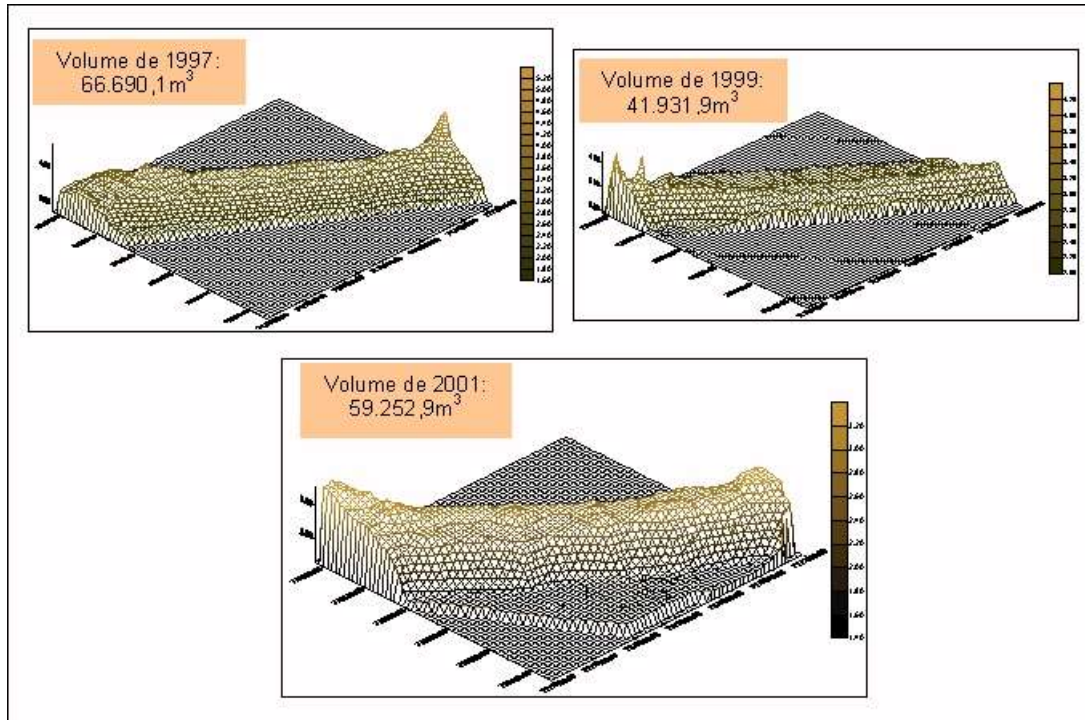


Figura 7 : MDT do Istmo da Ilha do Mel para a Estação de Referência CEM2 nos anos 1997, 1999 e 2001

5 Considerações Finais

Com este trabalho buscou-se mostrar aplicações da técnica PDGPS no âmbito marinho, com o auxílio do programa GNREF/GNRT-K. Eles mostraram ser de grande valia para as áreas sujeitas a intensas variações volumétricas. Com as posições calculadas para o istmo da Ilha do Mel foram gerados MDT sob os quais os volumes e as variações entre as épocas foram determinados. Provavelmente devido à dinâmica do fluxo sedimentar foi constatado por meio dos levantamentos efetuados em 1997 e 1999 que grande parte da área foi erodida isto é, neste período evidencia-se a área em franco processo erosivo. Já para 2001 os resultados mostraram uma progradação.

Mediante a análise dos pontos de interseção entre os perfis longitudinais e transversais analisou-se as coordenadas geodésicas e os desvios padrão obtidos em tempo real, bem como as diferenças calculadas para estes pontos que foram inferiores a 10cm, indicando a viabilidade da técnica PDGPS.

Com este estudo verifica-se que apesar da erosão marinha ser um processo natural ou induzido pelo homem, é possível se realizar um monitoramento e um controle mais eficiente da área da Ilha do Mel, uma vez que a construção de uma base geodésica e de uma cartografia com as informações devidamente espacializadas, classificadas e hierarquizadas para uma gestão eficaz e segura possibilitará um debate permanente e a mobilização sobre os riscos e problemas ambientais atuais, ou prospectivos para a comunidade e para o patrimônio público, de determinadas atividades humanas ou de fatores naturais induzidas ou não, provocados por alterações geoambientais e climáticas.

Quanto às questões relacionadas às grades e interpoladores pode-se dizer que as grades regulares possibilitam aproximar possíveis diferenças ocorridas em diferentes levantamentos e/ou épocas, tornando as superfícies o mais equivalentes possíveis, já as grades irregulares não passam por interpolação, as amostras são os próprios vértices dos triângulos. Com esta grade poder-se-ia cometer maiores erros, uma vez que se tem três épocas distintas com trajetórias não coincidentes. Ressalta-se que a escolha do interpolador é muito importante, pois ela depende da quantidade e distribuição das amostras que o usuário tem disponível e ele deverá fazer com que a grade gerada represente adequadamente a superfície real.

Uma sugestão para a escolha dos interpoladores é uma análise visual por meio dos mapas de isovalor e outra é quantitativa, por meio do módulo *grid/residuals* sob os desvios padrão (quando da utilização do *software* SURFER); a resolução tem caráter muito importante, pois a partir dela serão criadas as grades, que podem ser mais ou menos densas, isto é, com mais ou menos informações que caracterizam o relevo.

Quanto ao interpolador utilizado na geração das grades regulares (inverso da distância) ele mostrou-se satisfatório uma vez que as grades geradas representaram adequadamente a superfície real. Tanto a distribuição espacial quanto a quantidade de amostras apresentaram-se satisfatórias a partir da análise dos resultados obtidos, referentes aos testes com os interpoladores disponíveis no *software* SURFER, pois o interpolador escolhido apresentou a melhor medida de dispersão/desvio padrão.

De fundamental importância é a criação dos arquivos *blanked* ou vazios, os quais possibilitam delimitar a área de interesse dentro do *grid* gerado. Sem esta delimitação o volume calculado pelo *software* SURFER poderá não ser o volume real.

Faz-se necessário ocupar a mesma estação de referência para a realização do levantamento quando se planeja a obtenção das variações volumétricas. Desta forma, minimiza-se o problema de correlação espacial que poderá influenciar no processo dos cálculos.

6 Referências Bibliográficas

DRAPER, N.; SMITH, H.: *Applied regression analysis*. Wiley Interscience (2a. ed. revised), New York, 1981, 709 p.

FRANKE, R. : *Scattered data interpolation: test of some methods, mathematics of computations*. Vol. 33, no. 157, 1982, pp. 181-200.

GEOpp.: Gesellschaft für Satellitengestützte Geodätische und Navigatorische Technologien mbH. Garbsen – Alemanha, 1995. GNNET. Multistationsoftware. Programmdokumentation und Referenzhandbuch. Garbsen: Geopp, 1998.

GEOpp.: Gesellschaft für Satellitengestützte Geodätische und Navigatorische Technologien mbH. Garbsen – Alemanha, 1998. GNRT-K/GNRT. Empfängerunabhängiges Softwaresystem zur (hoch) genauen Positionierung mit GPS in Echtzeit.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.: *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1996, 343p.

KRUEGER, C.P.; BÖDER, V.; SEEBER, G.; SOARES, C. R.: *Aplicações do DGPS Preciso em tempo real no âmbito marinho*. Revista Brasileira de Cartografia no. 51. Maio de 1999, pp.59-71.

KRUEGER, C.P.: *Relatório internacional – Projeto de pesquisa para uma cooperação entre Brasil e Alemanha*. (Relatório consolidado dos resultados). CNPQ/DLR. Curitiba, 2001, 81p.

LEE, D. T.; SCHACHTER, B. J.: *Two algorithms for constructing a Delaunay triangulation*. International Journal of computer and information sciences. V. 9, nº3, pp. 219 – 242, 1980.

RENKA, R. J.: *Multivariate interpolation of large sets of scattered data*. ACM Transaction on mathematical software, v. 14, no. 2, 1988. pp. 139 – 148.

SURFER: *User's Guide*. Golden Software Inc. USA, 1999.

SUGUIO, K.: *Dicionário de geologia marinha*. T.A. Queiroz, 1992, 172p.